Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science
Région des Maritimes
Secrétariat canadien de consultation scientifique
Avis scientifique 2013/056

EXAMEN DE LA COMPOSANTE D'EXTRACTION DES ÉLÉMENTS ORGANIQUES DE L'AQUACULTURE MULTITROPHIQUE INTÉGRÉE DANS LE SUD-OUEST DU NOUVEAU-BRUNSWICK, AVEC ACCENT SUR LA MOULE BLEUE

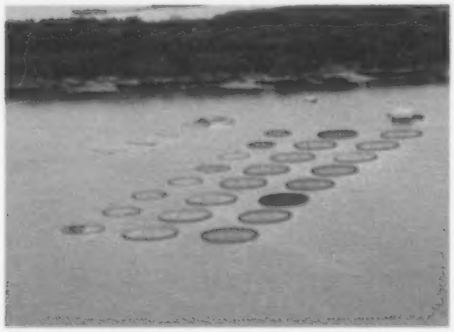

Figure 1. Photo aérienne d'un site d'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick. Les cages à saumon se trouvent dans les deux colonnes de droite; les radeaux à moules se trouvent dans la colonne de gauche; le radeau à varech (rectangulaire) se trouve dans le coin supérieur gauche (gracieuseté de J.A. Cooper, Pêches et Océans Canada, Station biologique de St. Andrews).

Figure 2. Carte du sud-ouest du Nouveau-Brunswick illustrant les sites de salmoniculture où des recherches en aquaculture multitrophique intégrée ont été menées.

Contexte

L'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) est une approche de l'aquaculture dans laquelle les sous-produits (p. ex. déchets solubles et particulaires) d'une espèce aquatique sont partiellement « recyclés » en tant qu'éléments nutritifs pour un ou plusieurs autres organismes. La majorité du travail d'élaboration de l'aquaculture multitrophique intégrée pour le projet pilote dans la région des Maritimes a été effectué à Bliss Harbour et dans la zone extérieure de Back Bay, dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, à une échelle limitée (figures 1 et 2). Au cours des dernières années, le nombre de demandes pour convertir des sites traditionnels de saumons en des exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée a augmenté. On a demandé au secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada d'examiner les travaux sur la composante d'extraction des éléments organiques (p. ex. mollusques et crustacés) de l'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick ainsi que de traiter des questions liées aux facteurs ayant une influence sur les effets écologiques et l'efficacité de l'aquaculture multitrophique intégrée, sa capacité à réduire la charge benthique, l'échelle à laquelle les répercussions de salmoniculture peuvent être atténués et l'échelle à laquelle l'aquaculture multitrophique intégrée peut avoir des répercussions mesurables sur d'autres aspects de l'écosystème.

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 3 au 5 octobre 2012 sur l'Examen de l'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

SOMMAIRE

- Plusieurs facteurs ont une influence sur les interactions écologiques et l'efficacité d'une exploitation d'aquaculture multitrophique intégrée, y compris : la configuration et la conception du site; la composition de ses espèces; l'échelle de l'élevage; l'efficacité des organismes choisis pour capturer et assimiler des déchets précis des parcs en filet; la disponibilité de la nourriture; les conditions du site, y compris les facteurs physiques (p. ex. profondeur, courants et température), les concentrations naturelles en nutriments et les caractéristiques des substrats; et les interactions des espèces.
- Les estimations du modèle physiologique laissent supposer que les déchets solides de la salmoniculture (p. ex. fèces et déchets alimentaires) devraient représenter au moins 10 % à 20 % de l'alimentation totale des moules avant de commencer à favoriser une diminution nette de la charge organique nette dans l'ensemble d'un site d'aquaculture multitrophique intégrée. Selon les données disponibles, il est très improbable que l'utilisation exclusive d'organismes filtreurs (moules) se nourrissant de particules fines dans les sites d'aquaculture multitrophique intégrée du sud-ouest du Nouveau-Brunswick permette de réduire de façon significative la charge benthique totale des matières particulaires aux sites. Comme les recherches sont toujours en cours, les renseignements à jour sont insuffisants pour évaluer la capacité de l'aquaculture multitrophique intégrée, avec un ensemble complet d'espèces, à réduire la charge organique benthique et les répercussions subséquentes sur les benthos sous le site.
- À l'échelle actuelle des activités d'aquaculture multitrophique intégrée, les moules peuvent être utilisées pour retirer certaines particules fines produites par les saumons (c.-à.-d. les petites particules fécales et les fines des aliments en granulés), et le varech peut extraire une fraction des nutriments inorganiques solubles résultant des processus métaboliques et respiratoires du saumon. Certaines données laissent entendre que le régime alimentaire des moules élevées très près des exploitations aquacoles peut se composer d'au moins 20 % de sources de poisson. Cependant, il n'a pas été clairement démontré que la composante pour mollusques et crustacés de l'aquaculture multitrophique intégrée offre un avantage écologique net pour réduire l'enrichissement organique benthique sous le site, car il est estimé que la majeure partie de la charge organique est composée de particules plus grandes que la portée de sélection des organismes filtreurs. Les configurations actuelles des sites, de même que l'absence d'une composante benthique des espèces utilisées en aquaculture multitrophique intégrée, ne sont pas optimales pour atteindre de tels avantages écologiques.
- L'utilisation de limivores d'extraction, tels que des oursins et des holothuries, peut réduire le dépôt organique benthique sous les sites de salmoniculture plus efficacement que les moules, car ces organismes peuvent consommer les particules plus larges qui se fixent habituellement près d'une ferme salmonicole. La conception des futurs sites d'aquaculture multitrophique intégrée devra évoluer du point de vue de la structure et de la complexité afin d'accueillir d'autres espèces en plus de faire en sorte que le débit d'eau est suffisant pour la respiration du saumon et que les différents niveaux trophiques sont efficacement liés.
- L'aquaculture multitrophique intégrée peut à la fois ajouter et retirer des nutriments inorganiques à l'échelle locale, car les espèces animales utilisées produisent de l'azote tandis que les algues marines l'absorbent. Aucune donnée n'a été présentée sur la capacité des algues marines à absorber les nutriments inorganiques, mais dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, rien n'indique une limite ou une eutrophisation des nutriments inorganiques, sauf à l'échelle locale de façon provisoire. Aucune donnée n'était disponible pour évaluer les effets potentiels des nutriments inorganiques à proximité et à

distance de l'aquaculture multitrophique intégrée. L'échelle actuelle de l'aquaculture multitrophique intégrée aura probablement des effets minimes sur l'écosystème global de la baie.

- L'aquaculture multitrophique intégrée ne devrait pas entraîner de changements importants sur les populations de phytoplanctons à grande échelle, mais il pourrait y avoir un épuisement (réduction) à l'échelle locale autour des sites d'aquaculture multitrophique intégrée en raison des activités des organismes filtreurs. L'augmentation des niveaux d'azote par la respiration des espèces utilisées en aquaculture multitrophique intégrée ne devrait pas créer de problèmes, car on pense que la production primaire dans la baie de Fundy est faible plutôt que limitée sur le plan des nutriments.
- Les effets de la productivité secondaire découlant d'interactions avec des espèces intertidales sont moins évidents. En fonction des conditions hydrographiques de la zone intertidale, il pourrait y avoir des interactions avec les nutriments accrus et les algues épiphytoniques qui, dans des conditions très particulières (p. ex. anse fermée avec chasse d'eau limitée), pourraient entraîner des conséquences négatives sur les organismes intertidaux. Cette interaction n'est pas limitée à l'aquaculture multitrophique intégrée; elle peut se produire avec n'importe quelle forme d'aquaculture ou d'activité anthropique.
- Il est possible qu'une proportion importante de la totalité des sources de larves de moules dans la zone de la baie Passamaquoddy et des îles de Fundy provienne de sites d'aquaculture multitrophique intégrée à la production maximale prévue. Cela pourrait avoir des répercussions sur les activités de pêche à petite échelle, mais ne devrait pas submerger les populations sauvages ou changer les types de peuplement sur les plages à grande échelle. Nous ne disposons pas d'assez de renseignements pour déterminer la probabilité réelle que ces effets se produisent.
- Il est recommandé de mener des travaux supplémentaires sur les effets écosystémiques à plus grande échelle.

INTRODUCTION

L'aquaculture multitrophique intégrée est une approche écologique pour la production d'aliments. Elle repose sur le principe du recyclage des nutriments (nutriments organiques solides comme les fèces et les déchets alimentaires ou éléments inorganiques solubles comme le dioxyde de carbone, l'ammoniaque et le phosphate) qui sont rejetés pendant les activités aquacoles au moyen d'une série d'organismes à différents niveaux trophiques qui transforment efficacement un nutriment particulier d'une forme organique à inorganique (ou inversement) tout en récupérant certains des nutriments dans la biomasse récoltée. Une partie de l'énergie et des nutriments récupérés de cette façon peut diminuer la charge nette en éléments nutritifs dans l'écosystème, augmenter la rentabilité de l'exploitation aquacole (grâce à la diversification et à la croissance accrue) et fournir aux gestionnaires de l'écosystème un outil actif (plutôt que passif) pour gérer la charge anthropique potentielle dans l'environnement. Le concept s'applique non seulement à la salmoniculture dans des parcs en filet en mer libre, mais aussi aux systèmes en mer ouverte, aux systèmes d'élevage en parc clos, aux systèmes en eaux douces ainsi qu'aux approches intensives ou vastes.

La plupart des recherches sur le développement de l'aquaculture multitrophique intégrée dans la région des Maritimes ont été effectuées à Bliss Harbour et dans la zone extérieure de Back Bay (baie de Fundy), dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, à une échelle limitée (figures 1 et 2). Cependant, au cours des dernières années, le nombre de demandes pour convertir des sites de saumons traditionnels en des exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée a augmenté, ce qui a soulevé des préoccupations de la part de certaines pêches commerciales et

organisations non gouvernementales sur les possibles impacts environnementaux, y compris les effets négatifs sur les habitats benthiques côtiers et l'épuisement du phytoplancton. Par conséquent, on a demandé au secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada d'examiner les recherches qui ont été menées sur la composante d'extraction des éléments organiques des particules fines (p. ex. mollusques et crustacés) de l'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick ainsi que de traiter des questions liées aux facteurs ayant une influence sur les effets environnementaux de l'aquaculture multitrophique intégrée, sa capacité à réduire la charge benthique, l'échelle à laquelle de telles répercussions peuvent être atténuées, et l'échelle à laquelle l'aquaculture multitrophique intégrée peut avoir des répercussions mesurables sur d'autres aspects de l'écosystème.

À l'heure actuelle, le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) est le niveau trophique nourri dans les sites d'aquaculture multitrophique intégrée du sud-ouest du Nouveau-Brunswick. Ce type d'aquaculture a été choisi parce que le saumon a de loin la plus grande biomasse de l'aquaculture produite dans les eaux de l'Atlantique à l'heure actuelle et, par conséquent, permet le développement et la mise à l'essai rapides des techniques de l'aquaculture multitrophique intégrée. Toutefois, le niveau trophique nourri pourrait être n'importe quelle espèce qui ajoute de l'énergie à l'environnement local par l'entremise des activités d'alimentation (p. ex. truite, omble chevalier, morue, flétan ou crevette). Les espèces d'extraction actuellement utilisées dans les activités d'aquaculture multitrophique intégrée du sud-ouest du Nouveau-Brunswick comprennent des moules et des varechs, mais des études pilotes ont aussi étudié l'utilisation d'holothuries, d'oursins et de pétoncles. La majeure partie des données utilisées pour répondre aux questions posées au cours de la réunion étaient basées sur des résultats de la configuration actuelle de l'aquaculture multitrophique intégrée (moules/saumons), qui en est toujours à l'étape de projet pilote. Par conséquent, dans le présent document, « aquaculture multitrophique intégrée » désigne principalement la composante d'extraction des éléments organiques pour mollusques et crustacés dans l'aquaculture multitrophique intégrée.

Les conseils découlant de la réunion seront utilisés pour éclairer la possibilité d'étendre de façon durable l'aquaculture multitrophique intégrée sur les sites aquacoles de saumons existants.

ÉVALUATION

Facteurs qui influent sur les effets de l'aquaculture multitrophique intégrée

On a posé la question suivante au secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada : « Quels sont les facteurs qui influent sur les effets de l'aquaculture multitrophique intégrée? »

Plusieurs facteurs ont une influence sur les effets écologiques et l'efficacité d'une exploitation d'aquaculture multitrophique intégrée utilisant des parcs en filet en mer libre, y compris : la configuration et la conception du site; la composition de ses espèces; l'efficacité des organismes choisis pour capturer et assimiler des déchets précis des parcs en filet; la disponibilité de la nourriture; les conditions du site, y compris les facteurs physiques (p. ex. profondeur, courants et température), les concentrations naturelles en nutriments et les caractéristiques des substrats; et les interactions des espèces.

Configuration et conception de l'exploitation d'aquaculture multitrophique intégrée

La configuration et la conception d'une exploitation d'aquaculture multitrophique intégrée, particulièrement son échelle (intensité et étendue), influent sur ses effets écologiques et son efficacité. Par exemple, il existe actuellement deux types de systèmes d'aquaculture

multitrophique intégrée utilisant des parcs en filet en mer ouverte au Canada. Sur la côte ouest, un site a été conçu selon des systèmes de cages carrées en acier propres à l'aquaculture multitrophique intégrée afin d'optimiser la proportion espèces/culture, la diversification des espèces, la direction des courants et l'accès aux nutriments. À l'heure actuelle, la capacité de production du site est assez faible. La morue charbonnière est le niveau trophique nourri en raison de la demande élevée du marché et de son prix. Sur la côte est du Canada, des espèces cultivées au sein d'un même système sont ajoutées aux fermes salmonicoles commerciales à grande échelle grâce à des cages de type « cercle polaire ». Comme de tels sites ont été choisis pour optimiser les exploitations de salmoniculture, la zone de concession disponible et les paramètres physiologiques (p. ex. le débit) peuvent ne pas toujours être optimaux pour l'ajout d'espèces de coculture. Cependant, puisque la majorité des sites de pisciculture au Canada utilisent le saumon, une approche complémentaire pour l'aquaculture multitrophique intégrée sera nécessaire à court terme si l'objectif est de réduire de façon significative la charge en éléments nutritifs dans l'ensemble de l'industrie. Il faudra réorganiser la conception physique de l'emplacement des cages aux sites existants pour optimiser la récupération de nutriments.

Composition des espèces de l'exploitation d'aquaculture multitrophique intégrée

Un facteur clé influant sur l'effet de l'aquaculture multitrophique intégrée est la composition des espèces utilisées dans le cadre de l'exploitation. Au moins trois grands groupes trophiques ou niches d'extraction sont nécessaires pour cibler tous les cours de nutriments. Ces cours de nutriments et les niches connexes sont les suivants :

1) *Nutriments inorganiques dissous* : peuvent être absorbés par les espèces d'extraction des éléments inorganiques, notamment les algues marines et les plantes aquatiques.
2) *Petites particules organiques en suspension ou coulant lentement* : sont produites par les déchets alimentaires ou les fèces et peuvent être capturés par des suspensivores d'extraction des éléments organiques, notamment les mollusques, les crustacés et certains brouteurs.
3) *Matières décantables organiques lourdes* : sont aussi produites par les déchets alimentaires ou les fèces et peuvent être consommées par les organismes limivores benthiques, notamment les oursins, les holothuries et les polychètes.

Les espèces choisies devraient pouvoir capturer efficacement les nutriments consommés ou absorbés et les convertir en tissus organiques ou déchets métaboliques. L'organisme devrait pouvoir produire des volumes assez élevés pour saisir une quantité suffisante des nutriments aquacoles disponibles (c.-à-d. cultivés à l'échelle commerciale) et apporterait idéalement une certaine valeur économique à l'exploitation. Il faut aussi tenir compte des interactions sociétales, écologiques et réglementaires.

Efficacité des organismes choisis

L'efficacité potentielle des organismes choisis est un facteur qui aura une influence sur les effets de l'aquaculture multitrophique intégrée. L'efficacité peut être divisée en deux catégories : 1) efficacité physiologique, c'est-à-dire la capacité d'assimilation des nutriments de l'espèce; et 2) efficacité de capture, soit la capacité de l'organisme à intercepter et à capturer les aliments.

Du point de vue physiologique, la plupart des organismes sont relativement inefficaces pour convertir la nourriture en biomasse; certaines des capacités écologiques naturelles les plus élevées atteignent 30 % (c.-à-d. croissance par unité de nourriture disponible). La plupart des organismes avec un rendement élevé sont des poissons. Il est donc important de mettre à l'essai ces espèces pour choisir celles qui conviennent le mieux et qui sont capables d'assimiler les nutriments ciblés. Les composantes alimentaires qui sont indigestes (non absorbées) seront

modifiées et expulsées en tant que fèces. Par conséquent, les déchets solides de la pisciculture que les espèces d'extraction ne peuvent pas digérer ne seront pas convertis ni retirés du site.

La capacité physique à capturer la nourriture est une fonction des structures d'alimentation de l'animal et des conditions physiques de la nourriture. Un modèle a été élaboré (Cranford et al., 2013) pour la physiologie d'alimentation et de digestion des moules; il est utilisé pour prédire l'efficacité de la capture et de l'absorption de déchets de poisson particulaires par les moules selon les scénarios des sites d'aquaculture multitrophique intégrée actuels et de remplacement. L'efficacité de capture des déchets particulaires de poisson par les moules est limitée par le temps disponible pour filtrer l'eau quand elle traverse les structures d'aquaculture multitrophique intégrée renfermant des moules (cette conclusion est aussi appuyée par la documentation disponible). Selon les prédictions, la configuration actuelle des systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée avec des moules sur quelques radeaux sera très inefficace pour intercepter les déchets des poissons dans les parcs en filet. Les scénarios de modélisation avec des conditions d'élevage de moules intensives (densité de mise en charge élevée) et vastes indiquent qu'il est très improbable que les moules soient capables de capturer la majorité des déchets de poisson aux fermes salmonicoles du sud-ouest du Nouveau-Brunswick

L'exposition aux sources de nourriture dépend des conditions physiques aux sites. À l'heure actuelle, les moules sont surtout confinées aux quinze mètres dans la partie supérieure de la colonne d'eau et dans des zones relativement petites autour des cages à saumon aux sites d'aquaculture multitrophique intégrée, souvent d'un seul côté de la concession. Cette disposition limite l'exposition aux nutriments des déchets de poisson pendant des périodes précises de la marée (p. ex. inondation ou marée descendante); principalement aux déchets particulaires indécantables, nommés « fines », qui proviennent des granulés, et secondairement aux fèces. Comme les marées dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick sont bidirectionnelles, les moules dans la configuration existante se trouvent probablement en aval des sources de nutriments particulaires que la moitié du temps.

Conditions du site

Les caractéristiques physiques du site d'aquaculture multitrophique intégrée, y compris la profondeur de l'eau, les courants et la température, jouent un rôle important dans la détermination du débit des nutriments à travers le système et, par conséquent, influent sur l'efficacité de capture des déchets des espèces des systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée. Les prévisions de l'efficacité de capture des particules de déchets basses par les moules d'aquaculture multitrophique intégrée dans le modèle de Cranford (Cranford et al., 2013) sont principalement basées sur la vitesse moyenne du courant dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, qui transporte les particules près des moules à une vitesse qui empêche la capture. Une réduction de la vitesse du débit par les structures d'aquaculture multitrophique intégrée pourrait augmenter l'efficacité de capture, car les vitesses du courant seraient réduites, mais elle pourrait aussi changer la trajectoire des particules et contribuer à l'augmentation du dépôt de déchets organiques. Il existe une faible possibilité qu'elle réduise l'oxygène dissous à des niveaux sous-optimaux dans les parcs en filet dans certaines conditions (très faible débit, faible échange d'eau, températures de l'eau faibles, biomasse élevée), mais les données présentées ne laissent pas supposer que cela est probable. D'autres facteurs, y compris les concentrations naturelles en nutriments et les caractéristiques des substrats, peuvent aussi avoir une influence sur les effets des exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée. Une augmentation de la nourriture disponible pour les mollusques et les crustacés, notamment les particules d'exploitations aquacoles, pourrait avoir des effets faibles sur la croissance dans un environnement déjà riche en particules si la quantité d'aliments naturels de grande qualité (seston) disponibles est supérieure à la capacité des filtreurs à les consommer.

Les mollusques, les crustacés et les limivores ont besoin de substrats efficaces situés à proximité pour accéder aux particules dans les systèmes d'aquaculture. Un substrat benthique bien conçu et situé (p. ex. structure de confinement) peut permettre à certains limivores, mollusques et crustacés de se développer même dans des milieux riches en matières organiques.

Interactions des espèces

Comme pour l'aquaculture traditionnelle, les exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée entraînent plusieurs interactions biologiques intentionnelles et non intentionnelles. Les nutriments qui sont perdus dans les exploitations de monoculture normales sont finalement consommés et absorbés par des macro-organismes (p. ex. poissons, invertébrés, algues) ou des micro-organismes (phytoplanctons, bactéries, organismes protozoaires) naturellement présents, ou pourraient être ensevelis dans le sédiment. Ces processus se produisent aussi dans les systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée, mais les nutriments des déchets sont ciblés par des macro-organismes d'élevage qui peuvent être récoltés. La disponibilité des ressources des exploitations aquacoles peut entraîner des interactions avec des virus et des parasites à faible échelle et des interactions avec des espèces mobiles férales et des prédateurs à plus grande échelle. Une compréhension de l'échelle et des mécanismes de ces interactions écologiques pourrait permettre d'optimiser les résultats et contribuer à l'élaboration d'approches de gestion appropriées pour l'aquaculture multitrophique intégrée en mer libre.

Capacité de la composante pour mollusques et crustacés de l'aquaculture multitrophique intégrée à réduire la charge benthique

On a posé la question suivante au secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada : « L'aquaculture multitrophique intégrée aide-t-elle à réduire la charge benthique sur un site aquacole? »

La charge benthique de l'aquaculture ou d'autres activités anthropiques désigne la masse des matières organiques (habituellement du carbone organique) qui atteint le fond. Au cours de la réunion, on a examiné les données disponibles selon les études ciblées concernant la capacité des moules à capturer les particules en suspens dans la colonne d'eau (déchets de poisson et seston naturel) et à produire ensuite des boulettes fécales.

Les études publiées étudiées fournissent des renseignements sur l'élimination et la production des déchets par la charge organique des moules afin d'évaluer indirectement la possibilité de dépôt benthique. Aucune donnée n'était disponible pour les sites d'aquaculture multitrophique intégrée afin d'évaluer directement leurs répercussions sur la charge benthique et, par conséquent, sur les communautés benthiques. Les conclusions concernant les répercussions de l'aquaculture multitrophique intégrée sur la charge benthique ne sont donc pas fournies. Cependant, l'aquaculture multitrophique intégrée, telle qu'elle est pratiquée à l'heure actuelle, pourrait aider à réduire l'exportation de certaines matières organiques particulaires selon les résultats de la modélisation et les expériences de croissance.

Il est reconnu que les fermes salmonicoles produisent des dépôts organiques. La question est de savoir si cette charge organique augmente ou diminue avec l'ajout d'espèces d'extraction d'aquaculture multitrophique intégrée. Bien que les espèces d'aquaculture multitrophique intégrée consomment certains des nutriments des déchets de poissons, elles apportent aussi des fèces à la charge organique globale. Par conséquent, une solution de remplacement à la mesure empirique de la charge benthique est de déterminer les changements dans la charge organique nette produite par le site, avec l'ajout d'espèces d'extraction des éléments organiques par rapport à la monoculture au moyen d'exercices de modélisation.

Pour évaluer si l'aquaculture multitrophique intégrée peut réduire la charge des matières particulaires totales (sources de nourriture naturelles et nutriments des déchets solides de poisson), il faut comprendre les divers processus qui contribuent à la charge, y compris : définir la charge dans l'environnement, dont la biomasse des poissons dans le site et les vitesses actuelles auxquelles les déchets sont dispersés; les proportions du régime alimentaire; les capacités d'extraction; l'absorption des déchets et la défécation; et les résultats potentiels.

Les estimations du modèle physiologique laissent supposer que les déchets solides de la salmoniculture (p. ex. fèces et déchets alimentaires) devraient représenter au moins 10 % à 20 % du régime alimentaire des moules avant qu'il y ait une diminution dans la charge organique nette de l'ensemble d'un site d'aquaculture multitrophique intégrée. Selon des données comparant la croissance des moules sur les fermes salmonicoles aux zones de référence, cela est possible dans certains cas. Toutefois, il est très improbable que l'aquaculture multitrophique intégrée, qui utilise seulement des organismes filtreurs (moules) se nourrissant de particules fines dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, ait permis de réduire de façon significative la charge de matières particulaires totales aux sites, car la majeure partie de la charge organique est composée de particules trop grandes pour les moules. Les renseignements à jour sont insuffisants pour évaluer la capacité de la composante pour mollusques et crustacés de l'aquaculture multitrophique intégrée à réduire directement la charge organique benthique et les répercussions sur les benthos sous le site. D'autres travaux sur cet aspect se poursuivent au moyen d'isotopes stables et d'acide gras comme traceurs pour déterminer la composante du régime alimentaire provenant du saumon.

Les renseignements et les analyses qui suivent permettraient de déterminer si l'aquaculture multitrophique intégrée (c.-à-d. l'inclusion de suspensivores d'extraction des éléments organiques ou de limivores) peut réduire la charge benthique d'un site une fois que le système complet a été élaboré :

- Renseignements sur les concentrations de sulfure aux sites avant et après l'introduction de suspensivores d'extraction des éléments organiques ou de limivores;
- Comparaison du bilan massique et des prédictions de la modélisation des dépôts aux sites avec ou sans l'inclusion de suspensivores d'extraction des éléments organiques ou de limivores.

Les recherches sur ces aspects se poursuivent.

Possibilité de dépôts organiques

De plus en plus d'espèces nourries (p. ex. poissons) pour les marchés nationaux et internationaux nécessitent de grandes quantités de nourriture, ce qui entraîne de grandes quantités de déchets organiques et inorganiques en raison de l'efficacité physiologique des différentes espèces. Les espèces d'extraction qui se nourrissent des nutriments de déchets organiques (d'origine naturelle ou aquacole) produisent leurs propres niveaux de déchets, qui peuvent être importants. Les matières organiques de ces déchets et leurs caractéristiques physiques peuvent différer radicalement et changer grandement la charge du carbone organique au fond. Par conséquent, une compréhension du carbone organique disponible, de son utilisation par les espèces d'aquaculture multitrophique intégrée et des mécanismes de distribution sur le plancher océanique permettra de déterminer la charge benthique.

Les fèces des moules ont une fraction plus basse de matières organiques et, en moyenne, elles se fixent plus lentement que les fèces de saumon. Par conséquent, il devrait y avoir moins de dépôts de carbone relatifs par unité de surface des fèces de moules à proximité. Ceci peut être illustré par une simple simulation. La libération d'une masse égale de fèces de saumon et de moule décantables a été simulée le long d'un transect hypothétique, en appliquant les vitesses

typiques actuelles dans la baie Passamaquoddy, afin de comparer les dépôts et les répercussions potentielles des fèces de saumon et de moule. Les résultats de la modélisation indiquent qu'à une profondeur de 20 mètres, les dépôts dans le champ proche étaient beaucoup plus élevés pour les fèces de saumon, et ce, à la fois pour la composante organique et la composante inorganique (figure 3). Des fractions organiques de fèces de moule se sont déposées le long du transect hypothétique en quantités relativement petites et sur une plus grande distance. En réalité, le débit ne serait pas linéaire et unidirectionnel à toutes les profondeurs, et on ne s'attend pas à ce que toutes les matières fécales atteignent de grandes distances sans un certain degré de détérioration. Néanmoins, la simulation illustre comment des masses similaires de fèces de moule et de saumon se déposeront différemment dans les mêmes conditions. Aucune donnée n'est actuellement disponible pour d'autres espèces, mais des calculs théoriques similaires pourront être faits une fois que les propriétés biophysiques des fèces sont connues. Les résultats de cette simulation ne visent pas à laisser croire que toute la charge organique benthique des moules est inoffensive, mais simplement à démontrer les répercussions potentielles de l'élevage de moules (en aquaculture multitrophique intégrée ou autrement) dans le contexte de la salmoniculture, pour laquelle il existe des protocoles de surveillance bien établis. Les résultats de la modélisation doivent toujours être évalués en fonction des données de terrain.

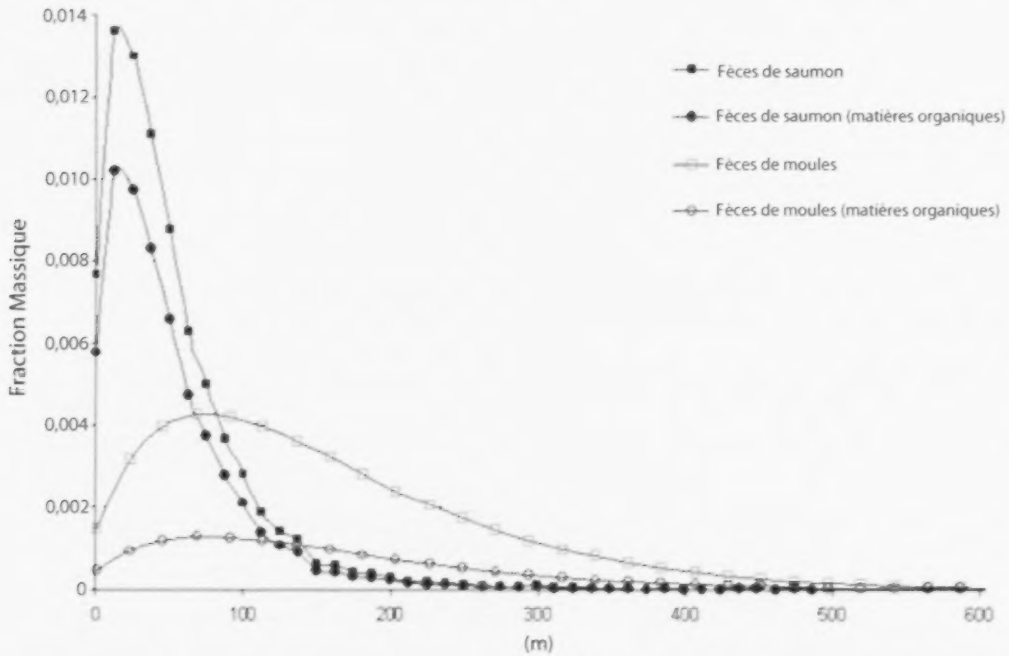

Figure 3. Dépôts théoriques de fèces de saumon et de moule le long d'un transect à une profondeur de 20 mètres. La répartition estimée est d'une libération d'une masse égale de fèces de saumon et de moule. La fraction massique désigne le pourcentage de la charge de matières organiques libérée. L'élaboration du modèle est décrite dans le rapport scientifique (Reid et al., 2013).

Proportions du régime alimentaire

Les mollusques et les crustacés dans l'aquaculture multitrophique intégrée consommeront des matières particulaires en suspension (seston), c'est-à-dire des phytoplanctons, de petits zooplanctons et des détritus, ainsi que des déchets solides de l'aquaculture provenant du niveau trophique nourri. Comme il est décrit ci-dessus, la proportion du régime alimentaire d'un organisme d'extraction provenant d'un niveau trophique nourri (c.-à-d. déchets solides de la

pisciculture) détermine si l'organisme augmente ou diminue la charge organique nette du site d'aquaculture multitrophique intégrée. La consommation de matières organiques digestibles entraîne la conversion de la majorité du carbone organique assimilé en dioxyde de carbone, qui se dissout dans l'eau, au moyen de la respiration. Le carbone organique indigeste est expulsé en tant que fèces, dont certaines se déposent au fond à l'intérieur de la zone de concession. Les estimations de la modélisation indiquent que les déchets solides de la salmoniculture doivent représenter 10 % à 20 % de l'alimentation des moules bleues avant que la charge organique nette de l'ensemble du site diminue (par rapport à un site de culture de saumons uniquement). La question de savoir si une espèce d'extraction peut s'adapter à ce régime alimentaire et si la charge globale diminue de façon significative dépend des catégories de taille de la nourriture disponible, de la capacité du niveau trophique à l'exploiter, de la biomasse des organismes d'extraction par rapport à la charge organique disponible et de l'efficacité d'extraction de l'organisme avec le nutriment.

Capacités d'extraction

La capacité d'ingestion d'un organisme dépend principalement de ses données morphométriques et des taux de contact avec la nourriture. Du moment que la proportion alimentaire de déchets de la salmoniculture par une population de moules d'aquaculture multitrophique intégrée est maintenue au-delà du seuil particulier déterminé par les matières organiques, la quantité de matières particulaires totales consommée n'augmentera pas la charge organique nette au site d'aquaculture multitrophique intégrée, si l'on suppose que des pseudofèces minimales sont produites. Toutefois, plusieurs phénomènes peuvent imposer des limites à la proportion de déchets de la salmoniculture qui peut être consommée par une population de moules ou une autre population d'aquaculture multitrophique intégrée, y compris : les catégories de taille des déchets solides de la salmoniculture disponibles; la quantité de déchets solides de la salmoniculture disponibles par rapport aux concentrations naturelles de matières particulaires totales; la direction et la profondeur auxquelles les particules se libèrent; et la fréquence et les taux de la libération.

Il existe très peu de renseignements sur la proportion de la charge particulaire globale d'une exploitation aquacole qui fait partie des catégories de taille pouvant être filtrées par les moules bleues. Bien qu'il soit possible de mesurer un sous-ensemble de tailles de particules dans un volume d'eau au moyen de divers instruments (p. ex. compteurs de particules à laser) et que les matières décantables puissent être recueillies dans des pièges à sédiments, cela fournit seulement un aperçu des tailles de particules présentes dans l'échantillon, et non leur fréquence dans la charge totale des solides des fermes pendant une période donnée. Cela complique l'évaluation de l'efficacité des mollusques et crustacés dans les systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée, car les exigences concernant la taille ne permettent pas à elles seules de déterminer la fraction de la charge totale qui est mise à leur disposition. Les moules bleues peuvent filtrer des particules entre 5 µm et 5 000 µm, bien qu'il soit généralement accepté qu'elles se nourrissent principalement des plus petites catégories de taille. La taille des particules quittant les cages à saumon va de moins de 1 µm (p. ex. particules individuelles) à plus de 20 mm (p. ex. granulés des saumons et matières fécales), ce qui représente une différence de cinq ordres d'importance. Il est estimé que la majorité de la charge (par masse) dépasserait les catégories de taille pouvant être filtrées par les moules.

Données empiriques

Les différences de croissance et les traceurs peuvent permettre de déduire la proportion alimentaire absorbée (digérée) par les mollusques et les crustacés, mais avec certaines limites. Dans le cadre de deux expériences menées à différents sites d'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, les moules bleues cultivées à côté des

cages à saumon ont grandi beaucoup plus vite que celles aux sites de référence loin des cages. Cela laisse entendre que les moules en aquaculture multitrophique intégrée avaient accès à de plus grandes concentrations de particules organiques. Cependant, deux autres études n'ont démontré aucune augmentation de la croissance chez les moules cultivées dans les cages à poisson, ce qui indique que des facteurs propres aux sites peuvent influencer la probabilité de croissance accrue. Ces résultats contradictoires correspondent à ceux publiés dans d'autres études, ce qui indique qu'il est nécessaire de comprendre la dynamique du débit des nutriments aux sites. Certaines difficultés sont liées à l'utilisation des différences de croissance pour évaluer la réaction des mollusques et crustacés dans les parcs en filets des systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée. Ces difficultés comprennent les comparaisons au moyen de sites de référence, car il est impossible d'exercer un contrôle réel lorsqu'on examine la culture à l'échelle commerciale. Il faut aussi s'assurer que la capacité de la culture de moules aux sites de référence est identique à celle aux sites d'aquaculture multitrophique intégrée. Certains essais sont actuellement menés au moyen d'isotopes stables et d'acides gras comme traceurs afin de se pencher sur ces restrictions, mais les données n'étaient pas disponibles au moyen de l'examen. Bien que les isotopes stables puissent déduire la proportion de sources alimentaires digérées et stockées en tant que biomasse, des renseignements sur l'efficacité d'absorption de ces sources sont nécessaires pour déterminer la consommation de la proportion alimentaire.

Avantages actuels et futurs possibles de l'aquaculture multitrophique intégrée

On a posé la question suivante au secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada : « L'ampleur actuelle de l'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick tire-t-elle certains avantages écologiques? » Si ce n'est pas le cas, à quelle échelle d'exploitation (échelle spatiale), avec quel mélange d'espèces, et avec quels attributs biophysiques y aurait-il des avantages environnementaux (p. ex. une réduction du taux de dépôt de carbone)?

Comme on l'a mentionné précédemment, les pratiques actuelles liées à l'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick mettent l'accent sur deux niveaux trophiques d'extraction, à savoir l'extraction des éléments inorganiques et de particules fines. Les renseignements examinés au cours de la réunion mettaient l'accent sur les études concernant le niveau d'extraction de particules fines, en particulier les moules. Par conséquent, des travaux et des analyses supplémentaires sont nécessaires pour fournir une réponse complète à la question posée au secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada.

Avantages actuels de l'aquaculture multitrophique intégrée

Comme l'orientation actuelle des cages à poisson est propre à chaque site d'aquaculture multitrophique intégrée, l'ensemble des cages et le nombre de cages ne sont pas uniformes. Les structures d'aquaculture multitrophique intégrée pour les moules bleues ou les algues marines sont généralement situées à un emplacement disponible qui est pratique pour le gestionnaire du site. En général, pour la moule bleue, deux à six radeaux se trouvent dans chaque site principal. À l'heure actuelle, la conception des radeaux à moules est une série de cercles concentriques contenant de 35 tonnes à 45 tonnes avec des moules sur un système de boudinage continu à une profondeur de quinze mètres.

Les moules doivent extraire les particules fines produites par les saumons dans l'exploitation aquacole, tandis que les varechs doivent extraire les nutriments inorganiques. À l'échelle actuelle des activités d'aquaculture multitrophique intégrée, les moules peuvent extraire les particules fines produites par les saumons (c.-à.-d. les petites particules fécales et les fines des

aliments en granulés), et le varech peut extraire une fraction des nutriments inorganiques solubles excrétés par les processus métaboliques et respiratoires du saumon. Cependant, on n'a pas démontré les avantages écologiques nets de l'aquaculture multitrophique intégrée concernant la réduction de l'enrichissement organique benthique total sous le site, car la majeure partie de la charge organique est composée de particules plus grandes que la portée de sélection des organismes filtreurs. De plus, les configurations actuelles des sites, de même que l'absence d'une composante benthique des espèces utilisées en aquaculture multitrophique intégrée, ne sont pas optimales pour atteindre de tels avantages écologiques.

Toutefois, l'aquaculture multitrophique intégrée pourrait apporter d'autres avantages environnementaux. Par exemple, des synergies potentielles sont créées dans le milieu plurispécifique d'un site d'aquaculture multitrophique intégrée. Les complexes plurispécifiques sont la norme dans la nature. Certaines des zones les plus productives dans le milieu marin sont les récifs, où une combinaison d'une structure tridimensionnelle et de multiples niveaux trophiques crée un écosystème où les nutriments sont continuellement recyclés. Ces systèmes peuvent demeurer stables pendant de longues périodes.

Lorsque les structures d'aquaculture sont placées dans l'eau, l'habitat tridimensionnel peut être colonisé par diverses espèces. Plusieurs études démontrent que les moulières augmentent la biodiversité dans les structures d'élevage. Des études ont aussi démontré que les exploitations aquacoles agissent comme appareils de regroupement de poissons et aires de croissance potentielles pour certaines espèces commerciales sauvages, y compris la morue et l'aiglefin. Cependant, selon l'échelle de l'élevage, ces structures tridimensionnelles peuvent aussi modifier les conditions hydrographiques locales autour des sites d'élevage, ce qui pourrait altérer la dispersion et le dépôt de déchets organiques s'ils ne sont pas bien conçus.

L'utilisation d'espèces d'extraction des éléments inorganiques (p. ex. varech) pour réduire les charges en nutriments inorganiques n'a pas été évaluée, mais elle devrait représenter un avantage environnemental potentiel de l'aquaculture multitrophique intégrée. Le varech peut extraire les produits dérivés de l'aquaculture, tels que l'azote inorganique, les phosphates, le dioxyde de carbone, tout en produisant de l'oxygène. Des évaluations plus poussées sont nécessaires pour déterminer si l'utilisation actuelle de varech dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick apporte ces types d'avantages de façon significative.

Avantages futurs possibles de l'aquaculture multitrophique intégrée

Au cours de la réunion, on a discuté de l'utilisation de limivores d'extraction, tels que des oursins et des holothuries, Ces organismes peuvent réduire le dépôt organique benthique sous les sites de salmoniculture plus efficacement que les moules, car ils peuvent consommer les déchets particulaires plus larges qui se fixent habituellement près des fermes salmonicoles. D'autres études sont nécessaires pour examiner pleinement si cela est possible en pratique. À l'avenir, la conception des sites d'aquaculture multitrophique intégrée devra évoluer du point de vue de la structure et de la complexité afin d'accueillir d'autres espèces en plus de faire en sorte que le débit d'eau est suffisant pour le saumon et que les différents niveaux trophiques sont efficacement liés.

À l'heure actuelle, la charge de particules fines n'est pas bien comprise et, par conséquent, la biomasse des moules nécessaire n'est pas claire. Les organismes filtreurs vont probablement pouvoir être ajoutés au sein des limites actuelles du site, car ils n'ont pas besoin d'être à proximité des cages à poisson. De plus, il ne sera peut-être pas nécessaire d'élargir les limites des concessions aquacoles existantes pour permettre l'ajout de limivores. Dans les concessions actuelles, une partie importante du fond est disponible pour des structures d'aquaculture multitrophique intégrée sous la surface près des cages à saumon. Une aire moyenne d'environ 77 000 m² se trouve sous le quadrillage sous-marin tenant les cages à

saumon en place. De plus, des études locales ont démontré que la majorité des dépôts organiques aux sites d'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick sont concentrés à l'intérieur de ces limites. Toutefois, pour atteindre la conception optimale de l'aquaculture multitrophique intégrée, y compris toutes les composantes trophiques, il faudra peut-être envisager une reconfiguration de la concession ou des limites des cages.

Les saumons devraient produire environ 2 025 kg de déchets organiques par jour en période de production maximale (300 000 poissons par 4,5 kg d'aliments par 1 % de poids corporel par jour). Les prévisions d'essais à petite échelle avec des oursins, des holothuries et des pétoncles cultivés en laboratoire et sur le terrain indiquent que si ces trois espèces étaient cultivées sur 30 % du fond disponible, elles pourraient consommer le double de cette quantité par jour. Cette hypothèse démontre que les échelles de production et de consommation de déchets coïncident et qu'une réduction importante des déchets organiques dans le fond marin est théoriquement possible.

Afin d'atteindre le nombre et la biomasse d'espèces d'extraction nécessaires pour la composante benthique, la production de nouvelles espèces d'extraction aux niveaux trophiques nécessitera probablement une production d'écloserie pour atteindre des volumes suffisants. À l'exception de quelques espèces pour lesquelles la collecte de larves nouvellement fixées sur le terrain est pratique (notamment les moules bleues et, peut-être, les pétoncles), il ne serait pas pratique d'entamer une collecte de juvéniles sauvages d'espèces commerciales aux fins de redistribution sur un site aquacole. Dans certains cas, cela aurait probablement des répercussions sur les pêches commerciales et la collecte entraînerait donc des répercussions sur l'environnement.

Certaines études laissent supposer que la culture de certaines espèces d'extraction pourrait aider à réduire la charge de certaines maladies et de certains parasites, qui sont actuellement gérés en partie grâce à l'utilisation prescrite d'agents thérapeutiques et d'autres pratiques d'élevage. Des études ont démontré que plusieurs espèces de mollusques et de crustacés peuvent consommer et digérer des larves de poux de poisson ainsi que d'autres petits zooplanctons et que les poissons nettoyeurs de la famille des labridés (p. ex. tanche-tautogue) peuvent consommer des poux de poisson adultes. Il a été démontré que les organismes filtreurs, notamment les moules, détruisent certains virus (p. virus de l'anémie infectieuse du saumon), mais d'autres études indiquent que certaines bactéries et certains virus pathogènes peuvent traverser le système digestif des moules sans être affectés. La recherche sur la place des espèces d'aquaculture multitrophique intégrée dans la dynamique de la santé globale des exploitations en est toujours aux premières phases.

D'autres avantages non biologiques sont associés aux exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée, y compris une augmentation des revenus et de l'emploi. Bien que ces avantages ne soient pas examinés dans le présent examen, ils revêtent tout de même une importance. Le présent examen met surtout l'accent sur les avantages écologiques. Afin d'obtenir ces avantages supplémentaires de l'aquaculture multitrophique intégrée, la construction et l'organisation des futurs sites devront évoluer pour optimiser divers aspects, y compris les suivants : accessibilité des structures d'aquaculture multitrophique intégrée; optimisation du champ de courant autour du site, amélioration des éléments existants des exploitations aquacoles (p. ex. systèmes de grilles, équipement de récolte); et formation d'équipes spécialisées pouvant mener ces types d'opérations.

Répercussions de l'aquaculture multitrophique intégrée sur d'autres aspects de l'écosystème

On a posé la question suivante au secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada : À quelle échelle l'aquaculture multitrophique intégrée aurait-elle des impacts mesurables sur

d'autres aspects de l'écosystème, tels que sur le phytoplancton et sur les plages de myes existantes?

Des examens antérieurs du Secrétariat canadien de consultation scientifique (MPO, 2005; MPO, 2006; MPO, 2010) portaient sur les effets de la conchyliculture et de la pisciculture sur l'écosystème. Le présent examen met l'accent sur les changements écosystémiques potentiels liés aux phytoplanctons et aux espèces intertidales, notamment la mye, si les espèces d'aquaculture multitrophique intégrée sont cultivées sur les sites de salmoniculture existants.

Surveillance des changements écosystémiques/gestion de la baie/effets cumulatifs

Comprendre les changements écosystèmes dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick en raison de la contribution des espèces d'aquaculture multitrophique intégrée sur les sites de salmoniculture commerciale constitue un énorme défi. Il est possible que les exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée contribuent aux agents de stress de l'écosystème par l'entremise de l'ajout potentiel de nutriments de déchets dans certains scénarios et de l'ajout d'espèces à l'environnement local. Cependant, il est toujours difficile de détecter les changements mineurs dans l'écosystème causés par l'aquaculture multitrophique intégrée à l'extérieur des sites de salmoniculture, car les mesures pour définir ce qui constitue un état stable dans l'écosystème local et l'ensemble de paramètres de base le plus approprié pour évaluer les changements au fil du temps sont méconnus. Toutefois, malgré la complexité du système, certaines approches de base peuvent être utilisées pour détecter les changements au fil du temps (p. ex. examen des habitats pour déterminer les changements des populations à long terme qui sont plus importants que ceux causés par la variabilité interannuelle).

Interactions des phytoplanctons

Par exemple, dans la région de la baie Passamaquoddy, il y aura une charge inorganique découlant des activités d'alimentation des saumons et de diverses espèces d'invertébrés, y compris les moules, les holothuries et les oursins. La charge inorganique peut être calculée en fonction de la biomasse de l'organisme et de la température. Par le passé, il a été démontré que les saumons contribuent largement aux bassins de nutriments d'azote dans la colonne d'eau de la région de Limekiln (Nouveau-Brunswick), et plusieurs études ont observé des gradients d'ammoniac dans l'eau à proximité des cages à saumon. Selon plusieurs études menées dans la baie de Fundy et le golfe du Maine, les nutriments réduisent rapidement la teneur de fond naturelle à distance des cages de façon à ce qu'aucun gradient de concentration important ne reste pour les nitrates ou les silicates. À ce jour, aucun effet à distance des nutriments n'a été observé.

L'aquaculture multitrophique intégrée peut à la fois ajouter et retirer des nutriments inorganiques à l'échelle locale, car les espèces animales utilisées produisent de l'azote tandis que les algues marines l'absorbent. Dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, rien n'indique une limite ou une eutrophisation des nutriments inorganiques, sauf à l'échelle locale de façon provisoire. On pense que cela résulte des grands volumes d'eau renouvelée provenant de la région côtière de la baie de Fundy. Bien qu'aucune donnée n'ait été présentée pour évaluer les effets à distance potentiels de l'aquaculture multitrophique intégrée, l'échelle actuelle des activités aura probablement des effets minimes sur le système global. Les résultats de la documentation laissent entendre que la production primaire dans la baie de Fundy est faible plutôt que limitée sur le plan des nutriments (Harrison et al. 2005). Par conséquent, l'aquaculture multitrophique intégrée ne devrait pas entraîner de changements liés aux phytoplanctons (y compris la fréquence des proliférations) à grande échelle, mais il pourrait y avoir un épuisement (réduction) à l'échelle locale autour des sites d'aquaculture multitrophique intégrée en raison des activités des organismes filtreurs.

Interactions des espèces intertidales

Les effets de la productivité secondaire découlant d'interactions avec des espèces intertidales sont moins évidents. En fonction des conditions hydrographiques de la zone intertidale, les nutriments pourraient être conservés pendant de plus longues périodes dans les eaux peu profondes avec une pénétration de la lumière adéquate. Il pourrait y avoir des interactions avec les nutriments accrus et les algues épiphytoniques qui, dans des conditions très particulières (p. ex. anse fermée avec chasse d'eau limitée), pourraient entraîner des conséquences négatives sur les organismes intertidaux.

L'augmentation du nombre d'espèces d'extraction dans l'aquaculture multitrophique intégrée (p. ex. moules) augmentera l'efficacité de la reproduction de ces espèces dans la zone de la baie Passamaquoddy et des îles de Fundy, qui s'ajoutera à la source de larves existante. Des pêcheurs de myes ont récemment observé qu'un nombre accru de juvéniles se posent sur les zones infratidales de quelques plages; on s'inquiète que cela pourrait avoir des répercussions sur les pêches. On se demande si une telle augmentation pourrait être causée par l'élevage de moules aux sites d'aquaculture multitrophique intégrée. Les moules dans un site d'aquaculture multitrophique intégrée se reproduiront probablement, car elles seront conservées pour une durée allant jusqu'à deux ans et vivront une ou plusieurs saisons de frai. En fin de compte, la question porte sur le mélange entre les larves des sites d'aquaculture multitrophique intégrée et leurs conspécifiques sauvages. La zone de la baie Passamaquoddy et des îles de Fundy comporte environ 730 kilomètres de ligne de côte. Si l'étendue moyenne de la ligne de côte abrite 500 moules par mètre (de la marée haute à la marée basse), la population totale serait de près de 365 000 000 moules. Si 20 sites d'aquaculture multitrophique intégrée contiennent chacun quatre radeaux de moules cultivées, le nombre total de moules serait de 90 millions, soit environ 25 % de la population sauvage prévue. Par conséquent, il est possible qu'une proportion importante de la totalité des sources de larves de moules dans la zone de la baie Passamaquoddy et des îles de Fundy provienne de sites d'aquaculture multitrophique intégrée à la production maximale prévue. Cela pourrait avoir des répercussions sur les activités de pêche à petite échelle, mais ne devrait pas influencer la taille, l'abondance et la répartition des populations, ou changer les types de peuplement sur les plages à grande échelle, car on estime que les populations de moules ne sont pas limitées par le nombre de larves dans le système. Nous ne disposons pas d'assez de renseignements pour déterminer la probabilité réelle que ces effets se produisent. Cependant, comme on a observé des changements dans la densité des moules sur les plages de cette zone, une enquête plus approfondie sur les causes et les effets de ces changements est justifiée.

À ce jour, la plupart des recherches pour évaluer les répercussions de l'aquaculture sur l'environnement ont été menées près des sites aquacoles. Les résultats ont démontré que la charge organique benthique est la plus élevée sous l'ensemble des cages ou à proximité de celui-ci, mais les effets de l'enrichissement benthique diminuent rapidement à mesure que l'on s'éloigne d'une exploitation. Les niveaux de dépôts organiques au-delà d'un certain seuil entraînent des niveaux plus élevés de sulfure et des changements potentiels à la biodiversité. Beaucoup moins de renseignements sont disponibles sur les effets à distance des nutriments sur l'écosystème naturel et les espèces connexes, y compris les espèces commerciales. Certaines études utilisant des traceurs ont démontré que dans certains cas, les déchets particulaires peuvent être consommés par les populations sauvages, mais on ignore les effets de ces transferts sur les populations. Des travaux supplémentaires sur les effets écosystémiques à plus grande échelle sont justifiés.

Sources d'incertitude

Il y a un manque de données empiriques et de renseignements de la documentation qui sont appropriés pour évaluer la possibilité que l'aquaculture multitrophique intégrée réduise la charge benthique du carbone organique sous les sites de salmoniculture. Comme la plupart des exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée sont des ajouts sporadiques aux sites existants, très peu d'ensembles de données mesurent les niveaux de la charge benthique avant et après l'aquaculture multitrophique intégrée. Les échelles de la biomasse actuelle des espèces d'extraction sont faibles par rapport à la biomasse des poissons élevés et, à ce jour, les espèces élevées (organismes se nourrissant de particules fines, comme la moule bleue) ne peuvent pas se nourrir des grosses particules qui renferment la majeure partie des matières organiques.

Le niveau auquel le dépôt benthique est influencé par l'aquaculture multitrophique intégrée dépend de la répartition des tailles de particules et des densités relatives provenant des activités aquacoles. À ce jour, on n'a pas fourni une bonne description de l'ensemble du champ des tailles de particules. Certaines études sont en cours pour documenter ce champ en collaboration avec le réseau canadien d'aquaculture multitrophique intégrée.

Les répercussions de la libération de nutriments supplémentaires dans l'environnement naturel provenant des exploitations de pisciculture ont principalement été étudiées dans le champ proche. Il existe moins de renseignements sur l'éloignement des nutriments des exploitations aquacoles et la façon dont ils interagissent avec les populations sauvages. Certains programmes sont en cours pour examiner cette question, mais ils viennent tout juste d'être entamés.

À ce jour, la majorité des travaux sur l'aquaculture multitrophique intégrée ont mis l'accent sur les algues marines et les mollusques filtreurs, en particulier les moules bleues. Une large composante benthique doit toujours être développée afin de traiter l'ensemble des nutriments disponibles, en particulier ceux qui entraînent une charge organique benthique. On commence tout juste à se pencher sur cette composante benthique de l'aquaculture multitrophique intégrée.

Dans la monoculture et les exploitations d'aquaculture multitrophique intégrée, il existe un degré d'interaction entre les populations sauvages à petite et grande échelle. À petite échelle, les changements dans les maladies et les parasites sont certaines des interactions notables (positives ou négatives) qui pourraient se produire. À l'heure actuelle, on ne sait pas exactement quelles seront les répercussions globales des interactions découlant de l'aquaculture multitrophique intégrée. Dans certains cas, elles semblent positives; toutefois, il existe des préoccupations concernant les réservoirs d'agents pathogènes créés. Il faut mener davantage de recherches sur ce sujet.

CONCLUSIONS ET AVIS

Plusieurs facteurs ont une influence sur les effets écologiques et l'efficacité d'une exploitation d'aquaculture multitrophique intégrée, y compris : la configuration et la conception du site d'aquaculture multitrophique intégrée; la composition de ses espèces; l'échelle de l'élevage; l'efficacité des organismes choisis pour capturer et assimiler des déchets précis des parcs en filet; la disponibilité de la nourriture; les conditions du site, y compris les facteurs physiques (p. ex. profondeur, courants et température), les concentrations naturelles en nutriments et les caractéristiques des substrats; et les interactions des espèces.

Les estimations du modèle physiologique laissent supposer que les déchets solides de la salmoniculture (p. ex. fèces et déchets alimentaires) devraient représenter au moins 10 % à 20 % du régime alimentaire des moules avant qu'elles retirent plus de nutriments qu'elles en

ajoutent. Cela a été constaté dans certains cas. Toutefois, selon les données disponibles sur la biomasse des moules, les taux de contact possibles et les particules disponibles, il est très improbable que l'aquaculture multitrophique intégrée, qui utilise seulement des organismes filtreurs (moules) se nourrissant de particules fines dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, ait permis de réduire de façon significative la charge de matières particulaires totales aux sites. Les renseignements à jour sont insuffisants pour évaluer la capacité de l'aquaculture multitrophique intégrée à réduire directement la charge organique benthique et les répercussions subséquentes sur les benthos sous le site.

Les moules doivent extraire les particules fines produites par les saumons dans l'exploitation aquacole, tandis que les varechs doivent extraire les nutriments inorganiques. À l'échelle actuelle des activités d'aquaculture multitrophique intégrée, les moules peuvent extraire certaines particules fines produites par les saumons (c.-à.-d. les petites particules fécales et les fines des aliments en granulés), et le varech peut extraire une fraction des nutriments inorganiques solubles excrétés par les processus métaboliques et respiratoires du saumon. Cependant, on n'a pas démontré les avantages écologiques nets de l'aquaculture multitrophique intégrée concernant la réduction de l'enrichissement organique benthique sous le site, car la majeure partie de la charge organique est composée de particules plus grandes que la portée de sélection des organismes filtreurs. De plus, les configurations actuelles des sites, de même que l'absence d'une composante benthique des espèces utilisées en aquaculture multitrophique intégrée, ne sont pas optimales pour atteindre de tels avantages écologiques.

L'utilisation de limivores d'extraction, tels que des oursins et des holothuries, peut réduire le dépôt organique benthique sous les sites de salmoniculture plus efficacement que les moules, car ces organismes peuvent consommer les particules plus larges qui se fixent habituellement près d'une ferme salmonicole. La conception des futurs sites d'aquaculture multitrophique intégrée devra évoluer du point de vue de la structure et de la complexité afin d'accueillir d'autres espèces en plus de faire en sorte que le débit d'eau est suffisant pour la respiration du saumon et que les différents niveaux trophiques sont efficacement liés. Il faut poursuivre ces travaux d'élaboration.

Il sera difficile de détecter les changements mineurs dans l'écosystème causés par l'aquaculture multitrophique intégrée à l'extérieur des sites de salmoniculture. Les répercussions sur l'écosystème seront probablement liées à l'eutrophisation, à la sédimentation et aux effets sur le réseau trophique.

L'aquaculture multitrophique intégrée peut à la fois ajouter et retirer des nutriments inorganiques à l'échelle locale, car les espèces animales utilisées produisent de l'azote tandis que les algues marines l'absorbent. Dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, rien n'indique une limite ou une eutrophisation des nutriments inorganiques, sauf à l'échelle locale de façon provisoire. Bien qu'aucune donnée empirique n'ait été présentée pour évaluer les effets potentiels sur l'écosystème à proximité et à distance de l'aquaculture multitrophique intégrée, l'échelle actuelle des activités aura probablement des effets minimes sur le système global. L'aquaculture multitrophique intégrée ne devrait pas entraîner de changements sur les phytoplanctons à grande échelle, mais il pourrait y avoir un épuisement (réduction) à l'échelle locale autour des sites en raison des activités des organismes filtreurs. On pense que la production primaire dans la baie de Fundy est faible plutôt que limitée sur le plan des nutriments.

Les effets de la productivité secondaire découlant d'interactions avec des espèces intertidales sont moins évidents. En fonction des conditions hydrographiques de la zone intertidale, il pourrait y avoir des interactions avec les nutriments accrus et les algues épiphytoniques qui, dans des conditions très particulières (p. ex. anse fermée avec chasse d'eau limitée), pourraient

entraîner des conséquences négatives sur les organismes intertidaux. Cette interaction n'est pas limitée à l'aquaculture multitrophique intégrée; elle peut se produire avec n'importe quelle forme d'aquaculture ou d'activité anthropique qui crée des nutriments excédentaires.

Il est possible qu'une proportion importante de la totalité des sources de larves de moules dans la zone de la baie Passamaquoddy et des îles de Fundy provienne de sites d'aquaculture multitrophique intégrée à la production maximale prévue. Cela pourrait avoir des répercussions sur les activités de pêche à petite échelle, mais ne devrait pas influencer la taille, l'abondance et la répartition des populations, ou changer les types de peuplement sur les plages à grande échelle. Nous ne disposons pas d'assez de renseignements pour déterminer la probabilité réelle que ces effets se produisent.

Il est recommandé de mener des recherches supplémentaires sur les effets écosystémiques cumulatifs à plus grande échelle.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

L'aquaculture multitrophique intégrée a créé des complications au sein du secteur de la gestion, car elle a de multiples facettes et tente activement d'accueillir plusieurs différentes espèces de la dynamique de l'écosystème. Par conséquent, des discussions ont actuellement lieu entre les intervenants afin de définir la meilleure façon d'assurer la surveillance des sites d'aquaculture multitrophique intégrée et de déterminer si des approches autres que les protocoles de surveillance existants sont nécessaires aux fermes salmonicoles normalisées.

À l'heure actuelle, la plupart des structures réglementaires de l'aquaculture sont basées sur le concept de la monoculture et ne tiennent pas compte des termes des interactions ni des espèces non traditionnelles qui ne peuvent pas servir à la consommation humaine. Ce n'est pas surprenant puisque le développement de l'aquaculture multitrophique intégrée en cages marines dans les sites piscicoles est assez récent (douze ans des expériences scientifiques très élémentaires à des densités commerciales); le Canada est l'un des chefs de file dans ce domaine. En raison des différences entre la répartition spatiale des déchets des moules et des saumons, ce facteur peut être considéré dans la configuration spatiale potentielle de la surveillance de l'aquaculture multitrophique intégrée. Si diverses structures de confinement sont utilisées aux sites d'aquaculture multitrophique intégrée, les répercussions de ces structures sur la répartition des effets sur le benthos (p. ex. en raison de changements dans le débit d'eau) devront être examinées dans la conception de la surveillance. Si un autre objectif de l'aquaculture multitrophique intégrée est de produire des avantages environnementaux au-delà de la réduction de la charge benthique, il faudra tenir compte de paramètres autres que le sulfure (p. ex. caractéristiques de la tranche d'eau, création d'habitats) afin d'évaluer l'efficacité de l'aquaculture multitrophique intégrée pour obtenir ces avantages.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 3 au 5 octobre 2012 sur l'Examen de l'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée lorsqu'elle sera disponible sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

Cranford, P.J., Reid, G.K., and Robinson, S.M.C. 2013. Open water integrated multi-trophic aquaculture: constraints on the effectiveness of mussels as an organic extractive component. Aquacult. Environ. Inter. (sous presse).

Harrison, W.G., Perry, T., and Li, W.K.W. 2005. Ecosystem indices of water quality Part 1. Plankton biomass, primary production and nutrient demand. p. 59-82, Hdb. Env. Chem Vol. 5, Part M, Springer, Berlin.

MPO. 2005. Évaluation de la pisciculture en cages dans le milieu marin. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2005/034.

MPO. 2006. Évaluation des risques pour l'habitat liés à l'élevage des bivalves en milieu marin. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2006/005.

MPO. 2010. Les séquences d'effets liées à l'aquaculture des poissons, des mollusques et des crustacés. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2009/071.

Reid, G.K., Robinson, S.M.C., Chopin, T., and MacDonald, B.A. 2013. Dietary proportion threshold of fish culture solids required by organic extractive species to reduce the net organic load in open-water Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) systems: A scoping exercise with co-cultured Atlantic salmon (*Salmo salar*) and blue mussel (*Mytilus edulis*). J. Shellfish Res. (sous presse).

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région des Maritimes
Pêches et Océans Canada
C.P. 1006, succursale B203
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
Canada B2Y 4A2

Téléphone : 902-426-7070
Courriel : XMARMRAP@mar.dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2013. Examen de la composante d'extraction des éléments organiques de l'aquaculture multitrophique intégrée dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, avec accent sur la moule bleue. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/056.

Also available in English :

DFO. 2013. Review of the Organic Extractive Component of Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA) in Southwest New Brunswick with Emphasis on the Blue Mussel. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2013/056.